



L'ambition de modéliser la ville

Jean-Philippe Antoni

► To cite this version:

Jean-Philippe Antoni. L'ambition de modéliser la ville. Gérard Brun. Ville et mobilité - nouveaux regards, Economica, pp.227-238, 2013. hal-00904079

HAL Id: hal-00904079

<https://hal.science/hal-00904079>

Submitted on 16 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'ambition de modéliser la ville

Jean-Philippe Antoni

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand F-25 000 Besançon
`jean-philippe.antoni@univ-fcomte.fr`

Référence

Antoni J.P., 2013, L'ambition de modéliser la ville. In : Brun G. (ss. dir.), *Ville et mobilité. Nouveaux regards*, Economica, Coll. Méthodes et approches, pp. 227-238.

La maîtrise de la consommation et de l'artificialisation des sols par l'urbanisation, qui passe par une meilleure gestion de l'étalement urbain, est aujourd'hui devenue une question cruciale pour l'aménagement des villes. Entre les différentes possibilités de planification qui s'offrent aux édiles et aux aménageurs, la minimisation des conséquences du développement urbain est désormais un enjeu majeur, qui se mesure sur les sphères économique, sociale et environnementale du développement durable. Dans ce contexte, une urbanisation durable ne devrait en principe compromettre ni la qualité écologique des espaces naturels, ni la viabilité économique des espaces agricoles, ni la qualité paysagère des espaces verts, ni la ventilation des centres urbains, et ne pas augmenter les déplacements individuels motorisés qui apparaissent simultanément énergivores, générateurs de congestion, de nuisances sonores et de pollutions atmosphériques, tout permettant les activités économiques et sociales nécessaires à ses habitants. Pour anticiper ces problèmes, le monde de la recherche en urbanisme et en aménagement s'attèle depuis plusieurs années à une tâche complexe, voire à une gageure, fondée sur des savoirs interdisciplinaires à mobiliser et à intégrer dans l'outillage technique des sciences humaines : la modélisation de la ville. Modéliser la ville (Antoni 2010) apparaît en effet comme une voie prometteuse, quoique difficile, qui relève d'un double enjeu : un enjeu théorique d'abord, afin de mieux comprendre ce que sont les aires urbaines actuelles et comment elles fonctionnent ; un enjeu opérationnel ensuite, afin de mieux les aménager pour en faire des centres de vie durable et de qualité.

1 Pourquoi modéliser la ville ?

Ainsi, la modélisation de la ville ne doit pas s'entendre uniquement comme un objet de recherche en soi, même si de nombreux travaux théoriques ont permis d'en asseoir les fondements. Elle trouve également son inspiration dans une volonté de projet politique, celui d'aménager le futur, objectif auquel elle offre une solution par l'intermédiaire de la simulation.

1.1 Préparer le futur par la prospective

Face aux enjeux combinés du développement durable et de l'aménagement urbain, les objectifs de l'Etat, des collectivités territoriales et de leurs partenaires privés ou institutionnels sont multiples. D'une part, il s'agit d'identifier les innovations (nouvelles formes d'habitat et de déplacements) capables de répondre aux préoccupations actuelles et d'anticiper les problématiques à venir sur la question de la durabilité des territoires et des mobilités. D'autre part, il s'agit de fournir des outils d'aide à la décision pour mieux concevoir les espaces à aménager, notamment les villes, en y intégrant efficacement les innovations les plus prometteuses. Mais ce double exercice n'est pas facile : il est très délicat de prévoir le futur, en particulier quand ce dernier doit intégrer des hypothèses innovantes aux conséquences encore partiellement inconnues et possiblement contre-intuitives. De nombreuses expériences, mais également de nombreux échecs dans les projets architecturaux et les politiques de la ville ou de transport, ont montré que le simple prolongement d'une tendance ne fournit souvent qu'une extrapolation médiocre des processus à l'œuvre, déconnectée des réalités du terrain et des objectifs de départ.

Pour dépasser ce stade, la recherche urbaine tente aujourd'hui d'intégrer une démarche prospective et s'efforce de ne pas raisonner dans un cadre absolu (« toutes choses égales par ailleurs » pour reprendre l'expression consacrée), mais de réfléchir en termes de scénarios, souvent contrastés, afin de brasser un panel plus large de devenirs possibles, et de vérifier l'adage désormais célèbre du philosophe M. Blondel : « L'avenir ne se prévoit pas, il se prépare ». Introduite en France par G. Berger en 1957, la prospective s'inscrit également dans cette volonté de mieux maîtriser un destin commun : « L'avenir n'est pas seulement ce qui peut arriver ou ce qui a le plus de chances de se produire. Il est aussi, dans une proportion qui ne cesse de croître, ce que nous aurons voulu qu'il soit ». Dès lors, il s'agit de construire et d'étudier les futurs possibles et leurs conséquences autour des deux champs qui ont servi à la construction du néologisme : la prospection (l'exploration de domaines nouveaux) et la perspective (qui induit les notions de point de vue et de futur). Limitée d'abord au domaine économique et au court terme, la prospective touche aujourd'hui de nombreux domaines, et s'intéresse très largement au long terme, les démarches improvisées et peu systématiques des débuts ayant fait place à une dimension de plus en plus scientifique, au sein de laquelle la formalisation mathématique est de plus en plus présente.

Ainsi, dans le contexte de l'évolution des territoires, J. de Courson (1999) distingue trois manières d'étudier le futur : (i) La projection qui consiste simplement à prolonger mécaniquement des évolutions passées, parfois sans grand souci de réalisme ; (ii) La prévision qui s'appuie généralement sur une projection, mais tente de tenir compte d'autres évolutions afin de déterminer une fourchette de possibilités associées à un degré de confiance plus ou moins connu ; (iii) La prospective, qui décrit les futurs possibles et les cheminements nécessaires pour y parvenir dans un cadre ouvert, dynamique et plus volontariste, traduisant souvent l'engagement de ceux qui construisent les scénarios de demain. Concrètement, pour les urbanistes comme pour les aménageurs, il s'agit ici de savoir, ou plutôt de prévoir, ce que provoquerait la construction d'une route sur la croissance démographique d'une commune, de considérer l'ouverture de son urbanisation et ses conséquences sur le plan de déplacements, et à terme, sur sa politique de transport, d'anticiper l'impact de ces infrastructures ou de ces développements sur l'économie, et de comprendre, dans la mesure du possible, comment celle-ci les contraint ou les favorise. Le moyen le plus simple d'y parvenir serait évidemment de tenter l'expérience *in vivo* : construire, urbaniser, observer les conséquences. Mais c'est pratiquement impossible, parce que les opérations d'aménagement se font sur le temps long et apparaissent souvent irréversibles, parce que leur coût est souvent faramineux, parce que ce serait probablement contraire à l'éthique. Une solution crédible consiste alors à recourir à la simulation, c'est-à-dire à la construction d'un modèle qui réagit d'une ma-

nière semblable à ce que l'on veut étudier et qui permettra de déduire des résultats transposables dans la réalité.

La mise en œuvre d'une telle démarche de simulation, fondée sur la prospective, est encore relativement neuve en urbanisme et dans l'ingénierie des transports. Elle nécessite l'utilisation d'outils adaptés, afin de prendre en compte, de gérer et d'analyser la complexité et l'enchevêtrement des dynamiques urbaines, avant de les projeter dans le futur. Parmi ces outils, la modélisation offre aujourd'hui des perspectives importantes pour l'aide à la décision, qui se mesurent dans l'ambition des chercheurs en sciences sociales de modéliser la ville.

1.2 Simuler le futur par la modélisation

Dans le monde de l'urbanisme, de l'aménagement ou du transport, la modélisation consiste généralement à simplifier la réalité du monde de manière à mieux comprendre comment les décisions et les événements y interagissent les uns avec les autres. Elle permet alors également de les reproduire ou de les modifier *in vitro*, afin de tester des solutions qui permettraient d'influencer ou d'orienter leurs conséquences, de décider à l'avance des politiques et des stratégies qui peuvent conduire à un futur souhaitable. La modélisation tente ici d'offrir une réponse à des questions du type : « que se passerait-il si l'on faisait cela ? » ou bien « que deviendrait ceci si l'on faisait cela » ? Actuellement, les simulations qui en découlent visent souvent à mieux prendre en compte les objectifs du développement durable, et à proposer des solutions viables à long terme, pour l'urbanisme comme pour les transports urbains.

Dans la grande majorité des cas, les simulations de ce type sont des solutions virtuelles, fondées sur la puissance de calcul des ordinateurs. En sciences sociales, elles se sont d'ailleurs généralisées dans les années 1990, à l'issue de la diffusion de machines individuelles performantes. Elles ont alors été influencées par la physique, les mathématiques et les sciences informatiques, qui leur ont apporté des concepts, des outils et des méthodes directement applicables. Toutefois, comme le rappellent J.R. Emshoff et R.L. Sisson (1970) ou encore A. Dauphiné (1987), la simulation est généralement indissociable de la modélisation sur laquelle elle s'appuie : elle n'en est qu'une étape. La démarche complète consiste d'abord à construire un modèle, puis à l'utiliser pour simuler informatiquement le comportement d'un système, éventuellement à tester la modification de certains paramètres, afin de multiplier les résultats, qui correspondent alors à autant de scénarios liés à l'introduction d'une idée ou d'un processus original au sein du système modélisé. Considérée dans ce sens, la modélisation apparaît véritablement comme une phase à part entière de la démarche scientifique expérimentale (Popper, 1968).

Mais si la simulation doit s'appuyer sur un modèle, qu'est-ce qu'un modèle ? Employé dans de nombreux cas, le mot apparaît fortement polysémique et son sens diverge suivant qu'on l'entend dans le langage courant ou dans le langage scientifique. On l'utilise par exemple comme un nom pour désigner une représentation, ou comme un adjectif pour qualifier un degré de perfection, ou encore comme un verbe qui signifie démontrer, ou montrer comment le monde s'organise (Ackoff *et al.*, 1962) ; H. Skilling (1964) conçoit un modèle comme une théorie, comme une sorte de loi, ou encore comme une hypothèse, voire même une simple idée plus ou moins structurée ; pour d'autres, il apparaît comme une relation ou plus formellement comme une équation ou un système d'équation plus ou moins complexe. Les modèles possèdent probablement chacune de ces propriétés. Dans ce contexte riche et diversifié, la définition la plus générale que l'on puisse en donner, du moins pour qualifier les modèles appliqués à l'urbanisation et au transport, se fonde sur celle de P. Haggett et R.J. Chorley (1967) : une représentation simplifiée d'une réalité, qui lui donne du sens et permet de mieux la comprendre.

Ainsi, chaque modèle possède sa propre échelle, à partir de laquelle il propose d'étudier la réalité dans un « état d'esprit » qui lui est propre, avec un certain objectif : ce qui n'affecte pas directement cet objectif peut être éliminé de l'étude, alors que les éléments qui permettent de l'atteindre se trouvent souvent artificiellement exagérés. Au cœur des modèles, le monde n'existe donc plus comme une réalité tangible, mais comme une connexité formelle et limitée, que l'on explore par l'intermédiaire de symboles, de règles et de processus simplifiés (Meadows, 1957). Un modèle n'est donc rien d'autre qu'une structuration simplifiée de la réalité, qui présente des caractéristiques ou des relations supposées significatives, dans une forme généralisée, une approximation très subjective qui ne tient pas compte de toutes les observations et de toutes les mesures. Et c'est justement la raison de leur intérêt : ils masquent les détails et permettent de focaliser sur les aspects fondamentaux de la réalité, du moins ceux que l'on cherche à mieux comprendre ou à simuler.

Défini de la sorte, chaque modèle éclaire une partie du monde comme un projecteur éclaire une scène, plongeant automatiquement d'autres parties dans l'obscurité (Bambrough, 1964). Et cette sélection implique naturellement qu'ils diffèrent souvent grandement de la réalité, qu'ils n'en soient que des approximations parfois caricaturales, mais suffisamment simples pour être correctement manipulées et comprises par ceux qui les utilisent, suffisamment représentatives pour qualifier correctement le monde auquel elles veulent correspondre, et suffisamment complexes pour caractériser avec une certaine exactitude le système qu'elles étudient. Finalement, chaque modèle se présente comme une sorte de compromis : il possède son champ de conditions, à l'intérieur duquel il est valable, et en dehors duquel il ne correspond plus à rien (Skilling, 1964).

2 Comment modéliser la ville ?

Par définition, il existe donc une multitude de modèles possibles pour décrire la ville et son fonctionnement, dépendant chacun d'une manière de voir les choses, conditionnée par l'approche disciplinaire de leurs concepteurs. A partir de théories fondatrices souvent anciennes et très simples, l'intégration des points de vue est désormais rendue possible par les développements techniques et conceptuels les plus récents.

2.1 Les théories fondatrices

Pour modéliser la ville, il est aujourd'hui possible de puiser dans le cadre théorique qui s'est construit depuis plus d'un siècle autour de l'étude des villes, en mobilisant un ensemble disciplinaire relativement vaste en sciences sociales (l'économie spatiale et la géographie économique, la sociologie, la psychologie environnementale et toutes les disciplines connexes), ensemble qui trouve un terrain commun dans le domaine des sciences régionales proposé par W. Isard en 1954. Loin de prétendre à l'exhaustivité, on peut citer quelques exemples de travaux qui ont fait avancer la recherche en lui offrant un cadre conceptuel à chaque fois renouvelé :

- Les travaux précurseurs de l'économie spatiale allemande qui ont donné à la modélisation urbaine ses premières illustrations, en particulier avec les modèles de J.H. von Thünen (1851), de A. Weber (1909), de W. Christaller (1933) ou de A. Lösch (1940), et qui ont permis d'étudier les villes dans le contexte très simple et très théorique d'un espace isotrope ;
- Les modèles d'écologie urbaine mis au point par l'école de sociologie de Chicago dans les années 1930 (Grafmeyer, 1990), qui étudient la répartition socio-spatiale des populations au sein des villes, et qui seront prolongés par le modèle de ségrégation de T. Schelling (1971) ;

- Les modèles d’interaction spatiale, notamment le modèle de D. L. Huff (1964), développés par les géographes parallèlement à la notion d’accessibilité mise en lumière, en économie, par W.G. Hansen (1959), qui permettent d’étudier les échanges et les déplacements possibles entre les lieux, en fonction de la population qui les habite, des aménités et des services qu’ils proposent ;
- Les travaux de la micro-économie qui donneront naissance au modèle de W. Alonso (1964), complété par les approches de E. Mills (1967) et de R. Muth (1969), fondées sur la théorie des enchères (bid rent) dans la considération du marché foncier urbain et élargies, de manière souvent plus réaliste, par l’école de la Nouvelle économie urbaine (NEU) (Tisse, 2010) ;
- L’approche systémique proposée par L. von Bertalanffy (1968), qui apparaît pertinente pour considérer les villes comme des « systèmes » en même temps qu’elle rend compte de leur complexité et de leur auto-organisation (Pumain *et al.*, 1989), qui échappent à l’analyse sectorielle si l’on veut les comprendre en totalité ;
- La théorie des graphes (Kansky, 1963), qui décompose formellement les réseaux de transport en une série d’arc et de nœuds, valués ou non, sur lesquels se fondent la majorité des modèles de trafic, notamment les modèles à quatre étapes, et des algorithmes d’optimisation des trajets et des déplacements ;
- Les travaux de T. Hägerstrand (1972) et de la *Time geography*, qui ont permis de mieux considérer les déplacements des individus dans une approche spatio-temporelle, intégrant pour le temps une contrainte comparable à celle que Y. Zahavi (1980) a introduite pour le budget ;
- La théorie de l’utilité, en particulier de l’utilité aléatoire (McFadden, 1973), qui a donné forme aux modèles de choix discrets (Ben Akiva, 1979), plus souples que ceux de la NEU, fondés sur la maximisation de l’utilité des individus dans leurs choix (de mode de déplacement ou de localisation résidentielle) ;
- etc.

Dans cet ensemble, il reste à réaliser une « bonne pioche », ce qui n’est pas aisé compte tenu des différentes approches théoriques et thématiques des écoles et des courants de pensée à l’origine des modèles fondateurs. Leur mise en commun est toutefois facilitée par l’émergence actuelle d’outils techniques et/ou de considérations conceptuelles qui trouvent leur source dans le domaine de l’intelligence artificielle (distribuée ou non), qui débute avec les travaux de J. von Neumann (1999) dans les années 1960. En particulier, on peut citer deux catégories d’outils qui ont modifié les possibilités d’implémentation concrète des avancées listées plus haut :

1. Les automates cellulaires qui visent à simuler les modifications de l’occupation du sol (par exemple l’évolution de l’urbanisation) en fonction de règles de voisinage établies au niveau local, comme au niveau régional ou national (White and Engelen, 1997). Héritiers de l’idée de géographie cellulaire (Tobler, 1979 ; Couclelis 1985), les automates ont notamment permis de revisiter les questions de rente foncière ou de ségrégation urbaine, en même temps qu’ils ont apporté une solution nouvelle pour considérer la question de l’étalement urbain ;
2. Les systèmes multi-agents (Ferber, 1995) qui visent à simuler les comportements d’agents (par exemple des individus qui se déplacent et/ou qui déménagent) et à prévoir les conséquences spatiales et collectives de ces comportements individuels. Entre autre, ils ont généralisé une approche de modélisation individuelle (centrée sur les agents), permettant de dépasser les modèles de mobilité agrégés, en intégrant la dimension comportementale du choix et de la décision en matière de stratégie de déplacement et de localisation.

Sur un plan un peu différent, l’agrégation de cet ensemble d’outils, de méthodes et de théories a également été facilité par le développement et la généralisation des Systèmes d’information géographiques (SIG) qui proposent un cadre commun pour la modélisation de l’espace géographique, des phénomènes qui y prennent place et de l’analyse spatiale qui découle de leur étude. Parmi

les rares standards disponibles pour considérer la ville et l'urbanisation dans un cadre spatial, les SIG apparaissent aujourd'hui comme un outil de référence pour concevoir et représenter les espaces urbains et leur environnement en deux, et parfois en trois dimensions.

2.2 L'intégration interdisciplinaire

Au regard des listes présentées plus haut, l'étude de la problématique des villes et des mobilités urbaines nécessite donc de faire des choix, qui conditionnent la description formelle du système-ville que chacun aura défini et décidé d'étudier. A partir de cette base, il est alors possible de mobiliser une méthode ou une autre : les modèles de choix discrets permettent de considérer les décisions d'acteurs ou de groupes d'agents, les modèles d'interaction spatiale simulent les interactions entre des lieux de départ et d'arrivée, souvent selon une logique à quatre étapes (génération et distribution du trafic, choix modal, affectation sur le réseau), l'algorithme de Dijkstra s'appuie sur la théorie des graphes pour calculer les chemins les plus courts, en distance ou en temps, etc. L'ensemble s'inscrit parfois dans un corpus théorique plus vaste, contraint par l'hypothèse de l'homo economicus, de l'équilibre général, de l'équilibre Nash, par l'équation de Wardrop, etc. Autant d'éléments, de possibilités et de solutions qu'il s'agit souvent de juxtaposer ou de combiner dans une logique rigoureuse, dans une approche nécessairement interdisciplinaire.

Mais face aux objectifs actuels et transversaux du développement durable, l'approche analytique et disciplinaire à partir de laquelle les villes ont longtemps été étudiées et décomposées en autant de champs que possible (économie, habitat, transport, etc.), nécessairement réductionniste, montre d'importantes limites. En effet, si pour comprendre le fonctionnement d'une machine à vapeur, on peut s'intéresser successivement à l'étude de la production thermique, puis à celle des pistons qui actionnent la machine (leur étude séparée apparaît plus simple de prime abord), une telle dissociation en parties distinctes et indépendantes nuit gravement à la compréhension du fonctionnement de l'ensemble. L'image est transposable à la ville. N'est-ce pas en intervenant sur les transports que l'on modifie l'habitat ? Et en intervenant sur l'économie que l'on modifie les transports ? Face à cette possibilité, il importe avant tout d'identifier et de qualifier les relations qui existent entre chacun des champs, des processus et des dynamiques qui composent la ville, et qui, en un tout, déterminent son fonctionnement.

Ainsi, en s'appuyant sur les avancées conceptuelles mises en exergue par différentes disciplines et sur les outils techniques issus du développement de l'informatique, il devient aujourd'hui possible de mieux formaliser les liens qui existent entre les processus et les dynamiques urbaines, et de les caractériser par une série d'interactions et de rétroactions. C'est alors l'occasion de revisiter ce que l'on a longuement considéré comme autant de cercles vicieux, ou vertueux ; celui de M. Halbwachs (1928), par exemple, mis en exergue au début du 20^e siècle, à propos de l'explosion démographique et spatiale des villes industrielles du 19^e siècle : les résidents viennent s'agglomérer sur les rives des fleuves urbains en voie de constitution pendant que cet afflux pousse lui-même à l'élargissement des voies de communication et à l'intensification des débits. Cette interdépendance, qui constitue, selon l'analyse systémique, une boucle de rétroaction positive entre les déplacements et l'urbanisation, pose la question de la formalisation des liens qui existent entre les mobilités urbaines, quotidiennes quand elles concernent le transport, résidentielles et économiques quand elles concernent l'urbanisation et l'étalement urbain. Les faisceaux disciplinaires se nouent.

Au sein du système-ville, l'identification des liens, des interactions et des rétroactions, constitue un problème étudié, à l'échelle internationale, par les modèles LUTI (*Land-Use Transport Interaction*). Nés aux Etats-Unis, arrivés plus tardivement en Europe, les modèles LUTI sont

une réponse scientifique désormais presque classique pour prendre en compte les mobilités quotidiennes et résidentielles d'une aire urbaine. Mis au point et appliqués depuis les années 1980 dans l'ensemble des pays développés et dans certains pays émergents, ces modèles proposent tous une approche différente du même problème. M. Wegener (2004) rappelle que les modèles LUTI offrent une approche prédictive ou prospective sur le futur des infrastructures de transport et leur utilisation, en lien avec la forme et l'expansion de l'habitat et des activités humaines qui en découlent, et vice-versa ; ils évaluent ces projections au regard des objectifs concrets du développement durable (émissions de polluants, qualité et mixité du voisinage résidentiel, impacts environnementaux, etc.) ; ils vont jouer à l'avenir un rôle croissant dans la concertation et la prise de décision en matière d'investissements économiques, sociaux ou environnementaux, car ils permettent de mettre en perspective les relations entre les décisions de court terme et les projections de long terme.

Conclusion

En France, la recherche dans ce domaine n'est pas en reste et de nombreux modèles apparaissent aujourd'hui complémentaires. Développés par des économistes et de géographes, certains s'apparentent à de véritables modèles LUTI (les projets Prirandello, Simaurif, Simbad ou encore MobiSim sont par exemple des « adaptations » LUTI au cas français), alors que d'autres, plus spécifiques (le modèle Miro qui s'attache à mieux comprendre comment les ménages se déplacent en ville), plus « pointus » (le modèle MupCity qui tente d'identifier l'intérêt d'un développement fractal des aires urbaines) et parfois plus théoriques (le modèle Ilot qui introduit de nouvelles hypothèses pour étudier les processus de ségrégation urbaine), explorent des voies nouvelles pour mieux répondre au double enjeu présenté dans l'introduction : mieux comprendre le fonctionnement des agglomérations actuelles et proposer des solutions innovantes pour leur développement, qu'il s'agisse de nouvelles formes de mobilité ou de formes urbaines plus vertueuses (Antoni, 2010). Au-delà des modèles en eux-mêmes, les programmes de recherches actuellement financés par le Predit visent à croiser les résultats obtenus jusqu'ici, et contribuent à une intégration plus que nécessaire pour dépasser les approches disciplinaires et pour dissoudre des clivages qui, s'ils ont été nécessaires au départ pour construire un corpus théorique pertinent et solide, sont aujourd'hui rattrapés par le besoin prégnant d'outils d'aiguillage politique et d'aide à la décision. Dans ce contexte, la formalisation d'une ontologie interdisciplinaire dédiée à la question des structures et des mobilités urbaines serait bienvenue à de nombreux égards, et la complexité parfois désarmante de sa mise œuvre ne serait peut-être finalement qu'une réponse mesurée à la complexité de son objet d'étude : la ville.

Références bibliographiques

- | | |
|---|---|
| <p>Ackoff R.L., Gupta S.K., Minas, J.S., 1962, <i>Scientific method : optimizing research decisions</i>, 464 p.</p> <p>Antoni J.-P. (ss. dir), 2010, <i>Modéliser la ville. Formes urbaines et politiques de transport</i>, Economica, Coll. « Méthodes et approches », 475 p.</p> <p>Alonso, W., 1964, <i>Location and Land Use</i>, Harvard University Press, Cambridge, MA</p> | <p>Bambrough R., 1964, <i>Principia metaphysica</i>, <i>Philosophy</i>, 39, pp. 97-109.</p> <p>Ben-Akiva M., Lerman S. R., 1979, Disaggregated travel and mobility-choice and measures of accessibility , in Hensher D.A., Stopher P.R. (Eds), <i>Behavioral travel modelling</i>, Croom Helm, London, pp. 654-679</p> <p>Christaller W., 1933, <i>Die zentralen Orte in Süddeut-</i></p> |
|---|---|

schland, Iéna, Fischer

Couclecis H., 1985, Cellular World : a framework for modelling micro-macro dynamics, *Environment and Planning A*, 17, pp. 585-596.

De Courson J., 1999, *La prospective des territoires. Concepts, méthodes résultats*, CERTU, Coll. Débats, 22, 70 p.

Dauphiné A., 1987, *Les modèles de simulation en géographie*, Economica, 187 p.

Emshoff J.R., Sisson R.L., 1970, *Design and use of computer simulation models*, Mac Millan.

Ferber J., 1995, *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*, Interéditions, 522 p.

Fujita M., 1989, *Urban economic theory*, Cambridge University Press, Cambridge.

Grafmeyer Y., Joseph I., 1990, *L'école de Chicago : naissance de l'écologie urbaine*, Paris, Aubier, 378 p.

Hägerstrand, T., 1972, The impact of social organization and environment upon the time-use of individuals and households, *Plan : International*, Special Issue, pp. 24-30.

Haggett P., Chorley R.J., 1967, Models, paradigms and the new geography. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in geography*, The Trinity Press, pp. 19-41.

Halbwachs M., 1928, *La population et les tracés de voies à Paris depuis un siècle*, Presses Universitaires de France.

Hansen W. G., 1959, How accessibility shapes land-use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25, 73-76.

Huff D. L., 1964, Defining and Estimating a Trading Area, *Journal of Marketing*, 28, p. 38.

Kansky K., 1963, *Structure of transportation networks : relationships between network geography and regional characteristics*, University of Chicago, Department of Geography, Research Papers 84.

Lösch A., 1940, *Die Raumliche Ordnung der Wirtschaft*, Iena, Fischer

Lowry I.S., 1964, *A model of metropolis*, Santa Monica, Rand Corporation.

McFadden, D., 1973, Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In : Zarembka, P. (ed.), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press

Meadows P., 1957, Models, systems and science, *American sociological review*, 22, pp. 3-9.

Mills E., 1967, An aggregative model of resource allocation in metropolitan areas, *American Economic Reviews*, 57, pp. 197-210

Muth R., 1969, *Cities and housing*, University of Chicago Press.

Popper R.K., 1968, 1989, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, 480 p.

Schelling T., 1971, Dynamic Models of Segregation, *Journal of Mathematical Sociology*, 1, pp. 143-186.

Skilling H., 1964, An operational view, *American scientist*, 52, pp. 388-396.

Thisse J.F., 2010, Towards a Unified Theory of Economic Geography and Urban Economics, *Journal of Regional Science*, 50, 1, pp. 281-96.

Tobler W. R., 1979, Cellular geography. In : Gale S., Olsson G., 1979, *Philosophy in geography*, Reidel Pub., pp. 379-386.

Von Neumann J., 1999, *L'ordinateur et le cerveau*, Flammarion, 128 p.

Von Thünen J.H ,1851, *Recherches sur l'influence que le prix des grains, la richesse du sol et les impôts exercent sur les systèmes de culture*, Paris, Guillaumet et Cie, Librairies, 290 p.

Weber A., 1909, 1929, *Theory of the location of industries*, Chicago University Press.

White R., Engelen G., Uljee I., 1997, The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land use dynamics, *Environment and Planning B*, 24(3), pp. 323-343.

Zahavi Y., 1980, Regularities in Travel Time and Money Expenditure, *Transportation Research Record*, 750, pp. 13-19.